

CARACTERIZAÇÃO DE ARGAMASSA PRÉ-DOSEADA DE TERRA

Tânia dos Santos^{1*}, Paulina Faria² e Vítor Silva³

1: Dep. Eng. Civil, FCT
Universidade Nova de Lisboa, 2829-516 Caparica
tr.santos@campus.fct.unl.pt

2: UNIC, Dep. Eng. Civil, FCT
Universidade Nova de Lisboa, 2829-516 Caparica
paulina.faria@fct.unl.pt

3: Dep. Eng. Civil, FCT
Universidade Nova de Lisboa, 2829-516 Caparica
vmd.silva@fct.unl.pt

Palavras-chave: Terra, Argila, Aglutinante, Argamassa, Caracterização

Resumo. *As argamassas de terra foram muito utilizadas no passado em Portugal para rebocos interiores e para o assentamento de algumas alvenarias revestidas. Durante algumas décadas a sua utilização cessou e o conhecimento empírico inerente à sua aplicação praticamente perdeu-se. Enquanto antigamente eram associadas a uma escolha de recurso, quando não existiam outros materiais disponíveis, atualmente e particularmente na Europa, América do Norte e Austrália, são consideradas como uma escolha de gama alta para a execução de rebocos interiores.*

As qualidades ecológicas das argamassas de terra já são bem conhecidas. A eficiência técnica destas argamassas quando aplicadas em sistemas de reboco e, particularmente, as suas características precisam de ser avaliadas através de procedimentos normalizados, de modo a poderem ser comparadas entre diferentes argamassas à base de terra e com os requisitos de argamassas de reboco.

Recentemente tem sido dedicado a este tipo de argamassas um maior interesse a nível científico e da indústria. Existe inclusive uma norma DIN recente que define os requisitos (e os ensaios) que estes tipos de argamassas devem cumprir para poderem ser comercializadas no mercado alemão.

No mercado nacional existe pelo menos uma argamassa de terra pré-doseada para reboco. Na falta de normalização nacional aplicável, esta argamassa foi preparada e caracterizada com base nos requisitos e procedimentos de ensaio definidos na referida norma DIN.

Os resultados são apresentados e discutidos, comparativamente a outras argamassas de terra e a argamassas mais correntes para reboco, nomeadamente argamassas com base em cal.

São salientados os bons resultados apresentados pela argamassa nacional e enfatizadas as vantagens, ecológicas e técnicas, que podem advir de um uso mais generalizado deste tipo de argamassas.

1. INTRODUÇÃO

As possibilidades de utilização da terra como material de construção têm evoluído nos últimos anos em todo o mundo. Tal situação permite que a terra possa ser cada vez mais utilizada, com vantagens técnicas e ecológicas. Estas vantagens residem no facto da terra ser uma matéria-prima abundante, muitas vezes poder ser utilizada para a construção a própria terra que é escavada para a execução de estruturas enterradas, a sua utilização não necessitar de processos de transformação dispendiosos em termos de energia (normalmente apenas um desterroamento e homogeneização), a sua utilização poder contribuir para a melhoria do comportamento térmico e para um bom conforto acústico, pode ser reutilizada (desde que não estabilizada com ligantes), ser incombustível e não ser tóxica. Para além destes aspetos e no que respeita à utilização da terra em argamassas de reboco interior, destacam-se ainda eventuais qualidades estéticas, juntamente com efeitos benéficos a nível do clima interior e de bem-estar geral, tais como a capacidade de contribuir para regular a humidade relativa do ar interior [1] [2]. Esta última vantagem advém das argamassas de terra serem muito permeáveis ao vapor de água. Para além disso, o seu comportamento mecânico é semelhante ao de uma parede de terra. Esta situação faz com que estas argamassas sejam mais compatíveis com estas paredes (e com paredes de características mecânicas semelhantes) do que as argamassas à base de cimento que, apesar de apresentarem melhor comportamento face à ação da água, são excessivamente rígidas para este tipo de alvenarias [3].

As argamassas de terra foram muito utilizadas no passado, nomeadamente em rebocos interiores de paredes construídas com terra (nas técnicas construtivas monolíticas da taipa, em alvenarias de adobe ou em paredes ligeiras de tabique) mas também em paredes de alvenaria de pedra argamassada. Foram também muito usadas como argamassas de assentamento em alvenarias por exemplo de xisto.

A argila presente nas argamassas de terra desempenha o papel de ligante ou aglutinante e pode ser responsável pela eventual retração de rebocos de argamassas de terra, enquanto a areia, geralmente existente, forma o esqueleto granular que constitui a estrutura mecânica do reboco. Uma boa formulação de argamassas de terra para reboco deve conter argila suficiente para ligar todo o esqueleto granular, permitir a plasticidade necessária para a sua aplicação e prevenir a sua erosão; não deve existir em grande quantidade de modo a ser possível limitar a retração [3]. A retração é considerada nociva no caso de causar fendas profundas ou destacamento do reboco, podendo a pequena microfissuração não ser necessariamente prejudicial. Para além da retração do reboco, também a ligação do reboco à parede é importante. Esta ligação depende da natureza da parede (como, por exemplo, materiais, aplicação de materiais, textura e eventuais heterogeneidades), do estado hídrico da parede e da natureza do reboco [3].

As argamassas de terra podem ter um melhor desempenho no caso de serem estabilizadas. Os principais objetivos da estabilização podem ser obter melhor comportamento mecânico, melhor coesão, redução da porosidade e das variações de volume, controlo da retração, aumento da resistência à fendilhação, melhoria da resistência à erosão do vento com partículas em suspensão, reduzindo a abrasão na superfície e a permeabilidade à água líquida. A estabilização pode ser química, mecânica e física. Um dos métodos de estabilização física de argamassas de terra mais utilizados é a incorporação de fibras vegetais, tais como a palha. A utilização das fibras permite diminuir ou evitar a fissuração nos processos de secagem das argamassas de reboco nas paredes, permitindo distribuir as tensões de retração da argila por toda a argamassa; permite ainda diminuir a massa volumica do material e melhorar um pouco o contributo da argamassa para o conforto térmico e acústico. A palha pode apresentar a desvantagem de se degradar quando exposta por períodos prolongados a ambientes húmidos e de aumentar a suscetibilidade da argamassa à contaminação biológica. Por este motivo atualmente as argamassas de terra têm tendência a não conter muita palha. No entanto a argila ajuda a manter a palha seca.

O interesse pelas argamassas de terra, e nomeadamente a sua utilização em rebocos interiores, tem sido objeto de desenvolvimento e aplicação em muitos países desenvolvidos do mundo. É o caso da Alemanha, que publicou em 2013 a norma DIN 18947 [4] relativa aos termos, definições, requisitos e

métodos de ensaio de rebocos constituídos por argamassas de terra sem estabilização química por outros ligantes.

Neste artigo apresentam-se os requisitos e os métodos de ensaio que a norma define para argamassas de reboco de terra e caracteriza-se uma argamassa pré-doseada de terra de fabrico nacional. Uma amassadura desta argamassa foi produzida em condições reais de obra no âmbito de um *workshop* que decorreu na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, com o apoio da empresa EMBARRO, e outra amassadura foi produzida em condições de laboratório. No âmbito do referido *workshop* a argamassa de terra foi aplicada como reboco sobre muretes experimentais constituídos por alvenaria de tijolo furado, alvenaria de blocos de betão, alvenaria de adobe e alvenaria de pedra argamassada, e foi posteriormente caracterizada, com bons resultados [5]. A argamassa, para além de terra argilosa, é constituída por areia siliciosa e fibras vegetais (cortadas com 1-2cm), sem qualquer outro ligante, e foi formulada com água suficiente para se poder proceder à sua fácil aplicação por projeção. Foram executados provetes em laboratório, que foram caracterizados através de ensaios físico-mecânicos.

Neste artigo apresentam-se e discutem-se os resultados obtidos com esta argamassa de reboco, procurando-se classificá-la de acordo com a norma DIN [4] em vigor na Alemanha e comparar os resultados desta argamassa de terra nacional com outras argamassas, de terra ou com base em cal aérea, consideradas como referência.

2. A NORMA DIN 18947

A avaliação das argamassas de terra segundo a norma alemã inclui a análise da retração inicial, da massa volúmica no estado endurecido, da resistência à compressão e à flexão, da aderência ao suporte, da resistência à difusão de vapor de água, da condutibilidade térmica, do comportamento ao fogo, da capacidade de adsorção de água, da resistência à abrasão e, no caso de se suspeitar da existência de sais prejudiciais em quantidades inaceitáveis que possa provocar degradação, a norma aconselha a realização de um ensaio para a determinação do teor de sais ao produto pré-doseado. Para a realização de grande parte dos ensaios de caracterização destas argamassas a norma DIN 18947 [4] remete para as normas EN 1015-1 a EN 1015-12.

2.1. Teor em sais

A norma [4] define que o produto pré-doseado das argamassas de terra têm de obedecer a valores limites no que diz respeito ao teor de sais. Desta forma, não podem ser apresentados valores superiores a 0,02 M.-% de nitratos, 0,10 M.-% de sulfatos e 0,08 M.-% de cloretos. Para a além da quantidade de cada sal presente na argamassa, a norma [4] impõe que o total de sais presente não seja superior a 0,12 M.-%.

2.2. Preparação de argamassas, caracterização no estado fresco e provetes

A norma alemã define que as argamassas de terra ensaiadas devem ser preparadas de acordo com o estabelecido na norma europeia EN 1015-2 [6], tendo em consideração alguns desvios. Desta forma a norma DIN 18947 [4] define que a produção da argamassa deve ser realizada através de um equipamento mecânico de amassadura, seguindo o seguinte procedimento: inicialmente é colocada a água para a mistura no recipiente da amassadura; posteriormente é colocada a quantidade de sólidos em 30 segundos, sob amassadura constante com as pás do equipamento; a amassadura continua por mais 30 segundos após a colocação dos sólidos; segue-se um período de descanso de 5 minutos e por fim seguem-se mais 30 segundos de amassadura. A quantidade de água necessária para a amassadura deve ser definida pelo produtor, de modo a cumprir o espalhamento definido.

A norma define que a argamassa no estado fresco deve ter massa volúmica superior a 1,2 kg/dm³ e uma consistência por espalhamento de 175±5 mm, sendo esta determinada de acordo com a norma EN 1015-3 [7]. Os provetes de argamassa são realizados de acordo com a norma EN 1015-11 [8], sendo desmoldados quando endurecidos.

2.3. Retração linear por secagem

Para a determinação da retração linear por secagem utiliza-se um mínimo de três prismas de argamassa acondicionados até massa constante a $23\pm5^{\circ}\text{C}$ e $50\pm15\%$ de humidade relativa (HR). A medição é feita com o auxílio de uma craveira sobre o lado mais longo do prisma, a meia altura. Os resultados de retração são obtidos através da redução do comprimento, em percentagem de alteração relativamente ao comprimento inicial do prisma. A norma estabelece que os resultados das medições individuais devem ser arredondados a uma casa decimal e que o resultado final para cada argamassa de reboco de terra resulta da média dos prismas, arredondada a uma casa decimal. A norma [4] define que a retração linear de secagem não deve ser superior a 2%, embora considere que rebocos constituídos por camadas finas com fibras possam apresentar uma retração linear até 3%.

2.4. Massa volúmica no estado endurecido

No estado endurecido, a norma estabelece a determinação da massa volúmica dos prismas de argamassa de dimensões de $40\times40\times160$ [mm]. Para determinar a massa volúmica é necessário que os provetes tenham sido mantidos acondicionados, até atingirem massa constante, a $23^{\circ}\text{C}\pm5^{\circ}\text{C}$ de temperatura e HR de $50\%\pm15\%$. Utilizando uma craveira, são medidas as dimensões dos provetes ao centro de cada face, realizando-se ainda a determinação da massa através de uma balança com um erro não superior a 0,1 g. A massa volúmica no estado endurecido é calculada a partir da relação da massa com o volume exterior dos prismas de argamassa. A norma define que os resultados das medições individuais têm de ser arredondados para duas casas decimais e expressos em kg/dm^3 . O resultado final para cada argamassa é a média das três medições individuais, arredondada para duas casas decimais, podendo ser classificadas, segundo a norma [4], de acordo com a Tabela 1, em classes de massa volúmica no estado endurecido.

Tabela 1. Massa volúmica de argamassas para reboco de terra (com base em [4]).

Classe de Densidade	Massa volúmica média [kg/dm^3]
0,9	0,81 – 0,90 ^a
1,0	0,91 – 1,00 ^a
1,2	1,01 – 1,20 ^b
1,4	1,21 – 1,40 ^b
1,6	1,41 – 1,60 ^b
1,8	1,61 – 1,80 ^b
2,0	1,81 – 2,00 ^b
2,2	2,01 – 2,20 ^b
^a os valores individuais podem exceder os limites em $\pm0,05 \text{ kg/dm}^3$.	
^b os valores individuais podem exceder os limites em $\pm0,10 \text{ kg/dm}^3$.	

2.5. Resistência à flexão e à compressão

A norma [4] define que o ensaio de resistência à flexão e à compressão deve ser realizado de acordo com a norma EN 1015-11 [8] a um mínimo de três prismas de argamassa. Os prismas devem ser armazenados, pelo menos nos últimos 7 dias antes do ensaio, a $23\pm2^{\circ}\text{C}$ de temperatura e a $50\pm5\%$ de HR. Os resultados dos ensaios de resistência à flexão e à compressão devem ser expressos em N/mm^2 , arredondados para uma casa decimal. A argamassa de terra é classificada em termos de resistência, a partir dos valores médios, segundo a Tabela 2.

2.6. Aderência ao suporte

Segundo a norma [4], o ensaio de aderência é feito de acordo com a norma EN 1015-12 [9], sendo a argamassa de terra classificada em termos de resistência segundo a Tabela 2. O ensaio realiza-se

sobre a argamassa de terra aplicada sobre um suporte (tijolo cerâmico ou bloco de betão). Este conjunto deve ser mantido, pelo menos nos últimos 7 dias antes do ensaio, a $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ de temperatura e $50\pm 5\%$ de HR. Os provetes são cortados nas superfícies de argamassa de terra, com uma broca central, com 50 mm de diâmetro, segundo a norma EN 1015-12 [9]. Esta norma refere que os provetes danificados devem ser postos de parte, devendo garantir-se um mínimo de cinco amostras utilizáveis e a sua média.

Tabela 2. Classe de resistência das argamassas para rebocos de terra (com base em [4]).

Classe de Resistência	Resistência à compressão $[\text{N/mm}^2]$	Resistência à tração por flexão $[\text{N/mm}^2]$	Aderência $[\text{N/mm}^2]$
SI	1,0 – 1,5	$\geq 0,3$	$\geq 0,05$
SII	$< 1,5$	$\geq 0,7$	$\geq 0,10$

2.7. Resistência à difusão do vapor de água e condutibilidade térmica

Em relação à resistência à difusão do vapor de água, μ , a norma DIN 18947 [4] considera que pode ser assumido o valor $\mu=5/10$ sem ser necessária a realização de nenhum ensaio. No caso de se querer ensaiar a argamassa de terra para determinação da resistência à difusão de vapor de água, é possível aplicar a norma EN ISO 12572 [10] ou a norma portuguesa e europeia NP EN 1015-19 [11].

A norma DIN [4] define que a condutibilidade térmica de argamassas de terra deve ser determinada com base na norma DIN V 4108-4 (à qual não se acedeu).

2.8. Reação ao fogo

A norma [4] refere que o comportamento ao fogo de rebocos de terra deve ser determinado segundo normas alemãs específicas – DIN 4102-1 [12] e DIN 4102-4 [13] -, sendo as respetivas argamassas classificadas em conformidade. O ensaio de resistência ao fogo é definido consoante a classe de cada material: A1, A2 ou B1. Na Tabela 3 é possível observar qual o ensaio a realizar à argamassa, consoante a classe do seu material e a periodicidade com que o ensaio deve ser realizado.

Tabela 3. Ensaio de resistência ao fogo de argamassas de reboco de terra (com base em [4]).

Classe do material	Ensaio	Frequência
A1, A2	DIN 4102-1: 1998-05, 5.1.2	1 x ano
B1	DIN 4102-1:1998-05, 6.2	1 x ano

2.9. Abrasão

A norma DIN 18947 [4] define que a resistência à abrasão de superfícies de terra é medida através da utilização de um disco redondo com uma escova rotativa de plástico. A escova de 65 mm de diâmetro é colocada na vertical com um dispositivo adequado que exerça uma força de contacto constante de 20 N contra a superfície, pressionando até realizar 20 rotações em 15 a 25 segundos. De acordo com a norma o material de desgaste é recolhido para um recipiente e posteriormente é pesado numa balança com precisão inferior a 0,01 g. Os valores individuais e médios do ensaio devem ser expressos em gramas e com uma casa decimal, não podendo os resultados exceder os valores indicados na Tabela 4.

Tabela 4. Abrasão máxima de argamassas de reboco de terra (com base em [4]).

Classe de Resistência	Perda por abrasão [g]
SI	$\leq 1,5$
SII	$\leq 0,7$

2.10. Adsorção do vapor de água

A adsorção de vapor de água por uma argamassa para reboco de terra é determinada em amostras retangulares de argamassa com 15 mm de espessura e 1000 cm² de área, realizadas em moldes de aço, sendo selados os cinco lados, para que a adsorção ocorra apenas na superfície superior. A amostra tem de se encontrar em equilíbrio a 50% de HR, sendo posteriormente exposta a uma HR de 80%, com temperatura constante de 20°C. Determina-se o aumento de massa de cada provete após 0,5h, 1h, 3h, 6h e 12h a essa HR, com o auxílio de uma balança de 0,01 g de precisão. Com base no valor médio das amostras, a argamassa é classificada de acordo com a Tabela 5.

Tabela 5. Abrasão máxima de argamassas de reboco de terra (com base em [4]).

Classe de adsorção de água	0,5 hora g/m ²	1 hora g/m ²	3 horas g/m ²	6 horas g/m ²	12 horas g/m ²
WSI	≥ 3,5	≥ 7,0	≥ 13,5	≥ 20,0	≥ 35,0
WSII	≥ 5,0	≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 30,0	≥ 50,0
WSIII	≥ 6,5	≥ 13,0	≥ 26,5	≥ 40,0	≥ 65,0

3. DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL

3.1. Argamassa e provetes

A argamassa pré-doseada de terra para reboco é comercializada pela empresa EMBARRO e é composta por terra argilosa, areia siliciosa e fibras de palha de aveia com 1 a 2 cm de comprimento. A argamassa foi produzida no decorrer do *workshop* que se realizou Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa (FCT-UNL), tendo sido misturada mecanicamente *in situ* para aplicação por projeção. Uma porção foi projetada para um balde e posteriormente transportada para o laboratório (a cerca de 30 m de distância) e caracterizada no seu estado fresco. Com essa argamassa foram produzidos manualmente, em laboratório, provetes prismáticos de argamassa em moldes metálicos com 40x40x160 [mm] (Fig.1, esquerda). A argamassa foi também aplicada sobre a superfície de tijolo furado de 7 cm numa camada de 1,5 cm, que foi nivelada (Fig.1, direita). Com base no teor de água determinado a partir da argamassa produzida *in situ*, foi produzida nova amassadura da mesma argamassa em condições controladas de laboratório. Esta foi misturada com um berbequim misturador de forma contínua durante cinco minutos após a adição de água. Com esta argamassa foram produzidos, em moldes de PVC sobre uma base impermeável, provetes circulares de 9 cm de diâmetro, com 1,5 cm e com 2,0 cm de espessura. A argamassa foi deixada cair dentro do molde de uma altura de aproximadamente 20 cm de altura e nivelada manualmente (Fig.1, centro). Foram ainda preparados provetes planares de 500x200x15 [mm] dentro de moldes metálicos. A argamassa encheu o molde e foi compactada por quedas laterais do molde e nivelada manualmente.



Figura 1. Provetes prismáticos de 40x40x160 [mm] nos moldes (esquerda); preparação dos provetes circulares (centro); provetes de argamassa sobre tijolo (direita)

O manuseamento da argamassa, tanto *in situ*, como em laboratório, permitiu verificar que apresentava uma excelente trabalhabilidade. Todos os provetes foram deixados secar em condições controladas de laboratório – $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ de temperatura e $65\pm 5\%$ de HR – e foram utilizados para caracterização física e mecânica.

3.2. Procedimentos de ensaio adotados

A baridade do produto pré-doseado foi determinada com base na norma EN 1097-9 [14]. As argamassas produzidas *in situ* e em condições laboratoriais foram caracterizadas no seu estado fresco, tendo sido determinada: a consistência por espalhamento (Fig.2, centro) segundo a norma EN 1015-3 [7]; a massa volúmica, segundo a norma EN 1015-6 [15]; o teor de ar com base na norma EN 1015-7 [16] e o teor de água, determinado através da perda de peso de uma amostra de argamassa ao ser seca em estufa. Para além destes ensaios de caracterização no estado fresco, realizados às duas amassaduras da argamassa, foram ainda realizados os ensaios de consistência por penetrómetro (Fig.2, esquerda) segundo a norma EN 1015-4 [17] e o ensaio de retenção de água segundo a norma prEN 1015-8 [18] na argamassa realizada em laboratório. Na argamassa de laboratório foi ainda realizado um ensaio de abaixamento (Fig.2, direita) que consistiu em avaliar o abaixamento ocorrido na amostra de argamassa pelo ensaio de consistência por espalhamento.



Figura 2. Ensaio da consistência por penetrómetro (esquerda); ensaio da consistência por espalhamento (centro); ensaio de abaixamento (direita)

Quando os provetes foram desmoldados foi observado que a retração existente era mínima.

A massa volúmica aparente da argamassa de terra em estudo foi determinada com base na norma DIN 18947 [4], tendo sido utilizados seis provetes prismáticos de $40\times 40\times 160$ [mm] (da argamassa preparada *in situ*), uma craveira digital e uma balança com 0,001 g de precisão.

As resistências mecânicas à flexão e à compressão foram avaliadas através dos mesmos seis provetes prismáticos. O módulo de elasticidade dinâmico foi determinado com base na norma EN 14146 [19] através da utilização do equipamento ZEUS Resonance Meter. A resistência à compressão e à tração por flexão (Fig.3, esquerda) foram determinadas de acordo com a norma DIN 18947 [4] e EN 1015-11 [8] com uma máquina de tração Zwick-Rowell Z050 com uma célula de carga de 2kN e outra de 50 kN, respetivamente para a resistência à flexão e à compressão. A aderência ao suporte foi determinada com base na norma EN 1015-12 [9] com o equipamento de pull-off PosiTest AT-M e com pastilhas de 50 mm de diâmetro.

A determinação da condutibilidade térmica realizou-se com o equipamento Heat Transfer Analyser ISOMET 2104 e a respetiva sonda de superfície API 210412 com 60 mm de diâmetro. Neste ensaio a sonda é colocada sobre o provete a ensaiar e, passado algum tempo de estar em contacto com a argamassa, o equipamento fornece o valor da condutibilidade térmica do material (Fig.3, centro). O equipamento define que deve ser utilizada uma superfície no mínimo com 60 mm de diâmetro e 15 mm de espessura. Para este ensaio foram utilizados seis provetes de 9 cm

de diâmetro e 1,5 cm e 2 cm de espessura, dois provetes de argamassa com 1,5 cm sobre tijolos furados de 7 cm, seis prismas de 40x40x160 [mm] e três provetes planares de 500x200x15 [mm] em molde metálico. De entre todos os provetes ensaiados apenas os provetes prismáticos não cumprem a recomendação do equipamento.

A capacidade higroscópica é determinada utilizando os provetes planos de 500x200x15 [mm] em molde metálico, com 1000 cm² de área, com base na norma DIN 18947 [4], mas também utilizando os provetes circulares de 9 cm de diâmetro, com 1,5 cm e 2 cm de espessura, com área de 55,6 cm². Os provetes foram revestidos, em todas as superfícies exceto a superior, com película aderente de polietileno (Fig.3, direita); os em molde metálico foram mantidos no respetivo molde. Os provetes planares de 500x200x15 [mm] foram pesados numa balança com precisão de 0,1 g, enquanto os provetes circulares foram pesados numa balança de precisão de 0,001 g.



Figura 3. Ensaio de resistência à tração por flexão (esquerda); ensaio de condutibilidade térmica (centro); ensaio de adsorção de vapor de água (direita)

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A baridade do produto seco da argamassa pré-doseada registou um valor de $1,17 \pm 0,01$ kg/dm³.

Na Tabela 6 é possível observar os valores obtidos na caracterização no estado fresco da argamassa preparada *in situ* e da mesma argamassa preparada em laboratório. Tal como já foi referido, a norma DIN 18947 [4] define que a argamassa no estado fresco deve ter massa volúmica superior a 1,2 kg/dm³ e uma consistência por espalhamento de 175 ± 5 mm, pelo que se pode concluir que a argamassa de terra preparada *in situ* cumpre o exigido pela norma [4], enquanto a argamassa preparada em laboratório, com o mesmo teor em água, apresenta um espalhamento ligeiramente superior ao definido como limite. No entanto, nenhuma das argamassas foi preparada exatamente de acordo com o procedimento definido na norma (vide 2.2 e 3.1).

Tabela 6. Caracterização da argamassa *in situ* e de laboratório no estado fresco

Ensaio no estado fresco	<i>In Situ</i>	Laboratório
Consistência por espalhamento [mm]	178,8 \pm 2,5	182,3 \pm 2,5
Abaixamento [mm]	-	14,2
Consistência por penetrómetro [mm]	-	2,4 \pm 0,1
Massa volúmica [kg/dm ³]	2,03	2,11
Teor de ar [%]	2,8	2,5
Retenção de água [%]	-	67,5 \pm 1,3
Teor de água [%]	20,1 \pm 0,1	19,4 \pm 0,3

Em termos de retração linear, a argamassa de terra em estudo apresenta um valor de retração

inferior a 3%, estando por isso de acordo com a norma [4]. Normalmente os materiais de construção de terra retraem significativamente. Segundo Röhlen e Ziegert [20] as argamassas de reboco de terra apresentam um grau de retração que pode chegar aos 2,5%, enquanto a retração do betão ou de argamassas de cimento é de apenas 0,04% e 0,09%, respetivamente. Noutro estudo realizado com argamassas de terra [21], estas também apresentaram um grau de retração inferior a 2%.

Os resultados obtidos de massa volúmica aparente, módulo de elasticidade, resistência à flexão e compressão e aderência ao suporte, em termos de média e desvio padrão, constam na Tabela 7.

Tabela 7. Massa volúmica aparente, módulo de elasticidade dinâmico, resistência à tração por flexão e à compressão e aderência ao suporte

	Massa volúmica [kg/dm ³]	Módulo de Elasticidade [N/mm ²]	Resistência à flexão [N/mm ²]	Resistência à compressão [N/mm ²]	Aderência [N/mm ²]
Média	1,77	3610	0,3	1,1	0,15
Desvio Padrão	0,02	128	0,0	0,1	0,03

De acordo com a norma DIN 18947 [4] esta argamassa pode ser classificada como pertencente à classe 1,8 em termos de massa volúmica aparente, uma vez que apresenta valores entre 1,61 e 1,80 kg/dm³. Em termos de resistência mecânica, pode ser classificada como sendo de classe SI, uma vez que apresenta resistência à flexão não inferior a 0,3 N/mm², resistência à compressão superior a 1,0 N/mm² e aderência ao suporte superior a 0,05 N/mm² [4].

Habitualmente, as misturas de terra têm uma resistência à compressão mínima de 0,6 N/mm² [20]. No entanto considera-se que os valores mais típicos para argamassas de terra e para taipa variam entre 1 e 3 N/mm² [20]. Comparativamente, argamassas de reboco com base em cal aérea costumam apresentar resistências à compressão que rondam 1 a 1,5 N/mm² [20], sendo admissíveis valores entre 0,4 e 2,5 N/mm² para argamassas de reboco de paredes de edifícios antigos ou com características mecânicas similares [22]. Estudos desenvolvidos por Matias et al. [23] mostram que argamassas de cal aérea com resíduos de cerâmica podem atingir valores de resistência à compressão aos 120 dias de idade que ultrapassam 7 N/mm² e de resistência à flexão que se aproximam de 0,35 N/mm².

As argamassas de reboco de terra devem apresentar uma resistência à aderência entre a superfície e as camadas de reboco de, pelo menos, 0,03 N/mm² [20]; no entanto Röhlen e Ziegert [20] também afirmam serem comuns valores até 0,15 N/mm².

Os valores obtidos relativos à caracterização mecânica demonstram que as argamassas de terra, e esta em particular, apresentam características semelhantes à de outros tipos de argamassas, nomeadamente com base em cal aérea.

No que diz respeito à condutibilidade térmica, os valores obtidos no ensaio realizado sobre os vários tipos de provetes, em termos de média e desvio padrão, constam da Tabela 8.

Tabela 8. Condutibilidade térmica λ .

λ [W/(m.K)]	Ø 9 cm e 1,5 cm espessura	Ø 9 cm e 2 cm espessura	500x200x15 [mm]	40x40x160 [mm]	1,5 cm sobre tijolo
Média	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9
Desvio Padrão	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0

Tal como já foi referido, todos os provetes cumprem as recomendações do equipamento, exceto os provetes prismáticos de 40x40x160 [mm]. No entanto todos os provetes apresentam um valor

de condutibilidade térmica na casa dos 0,9 W/(m.K). Tipicamente, os materiais de construção de terra apresentam valores entre de 0,17 e 1,1 W/(m.K), dependendo da massa volúmica aparente [20]. No caso particular da argamassa de terra analisada, o valor de 0,9 W/(m.K) é da mesma ordem de grandeza do valor definido no ITE 50 [24] para argamassas e rebocos de cal e areia com massa volúmica de 1,60 kg/dm³.

A higroscopicidade é uma medida dinâmica que descreve a capacidade de adsorção de vapor de água do ambiente pelas camadas de um elemento de construção. Os valores médios obtidos no ensaio de adsorção de vapor de água, em acréscimo de massa por área superficial da argamassa, $\Delta Wt/A$, ao fim de determinados períodos na câmara climática, constam da Tabela 9 para os diferentes provetes ensaiados.

Tabela 9. Vapor de água adsorvido por unidade de área, pelos diferentes tipos de provetes, ao longo do ensaio

$\Delta Wt/A$ [g/m ²]	Ø 9cm e 1,5cm espessura	Ø 9cm e 2cm espessura	Planares 500x200x15 [mm]
Tempo [h]			
0,5	8,7	10,3	29,0
1	18,0	24,0	60,3
3	36,9	34,1	75,0
6	49,4	45,3	90,3
12	68,5	67,7	105,3

É possível concluir que as dimensões da superfície dos provetes têm uma grande influência na quantidade de vapor de água adsorvida pelos provetes, não se verificando uma grande influência a nível da espessura, entre 1,5 e 2,0 cm. No entanto, comparando os valores obtidos com as classes definidas na norma DIN [4], verifica-se que, de acordo com os resultados de todos os provetes, a argamassa é classificada como WSIII. Rohlen e Ziegert [20] afirmam que o valor médio da adsorção do vapor de água por argamassas de terra para rebocos encontra-se geralmente entre 50-70 g/m², sendo possível verificar que a argamassa analisada apresenta valor médio perto do limite superior dessa gama. Os rebocos de terra exibem capacidade higroscópica anormalmente elevada, geralmente só comparável a madeira não tratada, que regista valores da ordem de 60 g/m² [20]. No entanto, esta característica deverá ser controlada de modo a ser adequada às condições de humidade relativa e temperatura existentes no interior e no exterior dos edifícios.

Tal como já foi referido, a norma DIN 18947 [4] impõe a classificação da argamassa de terra consoante a sua reação ao fogo e remete para as normas DIN EN 4102-1 [12] e DIN EN 4102-4 [13]. Este ensaio não foi levado a cabo porque, de acordo com estas normas, a terra e materiais contendo elevado teor em terra podem ser diretamente classificados como sendo não-inflamáveis (classe A). Também Rohlen e Ziegert [20] referem que ensaios realizados mostraram que argamassas de terra com fibras de palha com massas volúmicas superiores a 1200 kg/m³ cumprem os requisitos para serem classificadas como não-inflamáveis.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste documento apresentam-se os aspetos considerados mais importantes que constam na norma sobre argamassas de reboco de terra [4] que se conhece, bem como os resultados da caracterização de uma argamassa pré-doseada de terra de fabrico nacional. O estudo efetuado permitiu salientar diversos aspetos, que de seguida são mencionados.

A trabalhabilidade apresentada pela argamassa foi excelente, tanto quando preparada *in situ*, como quando preparada em laboratório. Os valores de consistência por espalhamento e massa volúmica no estado fresco estão de acordo com o imposto na norma DIN 18947 [4]; no entanto, pela trabalhabilidade apresentada, verificou-se que a argamassa poderia ter sido efetuada com ligeiramente menor quantidade de água. Mesmo assim (efetuada com eventual excesso de água), o facto de esta argamassa apresentar um valor de retração linear por secagem reduzido, e

que cumpre o limite definido na norma [4], é uma muito boa indicação.

A nível de massa volúmica no estado endurecido esta argamassa pode ser classificada como sendo de classe 1,8 [4] uma vez que apresenta valores entre 1,61 e 1,80 kg/dm³.

Em termos de resistência, esta argamassa pode ser classificada como sendo de classe SI [4], uma vez que apresenta valores de 0,3 N/mm² de resistência à flexão, superiores a 1,0 N/mm² de resistência à compressão e superior a 0,05 N/mm² de aderência ao suporte. Os valores obtidos são comparáveis com os de outras argamassas para rebocos, nomeadamente à base de cal.

Quanto à condutibilidade térmica, todos os tipos de provetes apresentaram valores consistentes e que não ultrapassam 0,9 W/(m.K). Esta característica não se traduz, no entanto, num grande acréscimo de resistência térmica, devido à reduzida espessura com que as argamassas de reboco interior são normalmente aplicadas.

A nível da adsorção de vapor de água, esta argamassa de terra pode ser classificada como de classe WSIII [4] pelos resultados apresentados nos provetes prismáticos de 500x200x15 [mm], mas também pelos dos provetes circulares de 9 cm de diâmetro, com 1,5 cm e 2 cm de espessura. A constituição da argamassa permite atribuir-lhe boas características em termos de comportamento ao fogo.

Em face dos resultados obtidos e da discussão efetuada, verifica-se a qualidade apresentada pela argamassa de terra pré-doseada de fabrico nacional analisada. Considera-se que, em face das características que se demonstraram que uma argamassa de terra pode ter, este tipo de argamassas poderiam ser mais utilizadas em rebocos de edifícios, com evidente ecoeficiência.

AGRADECIMENTOS

Agradece-se o financiamento por parte da Fundação para a Ciência e a Tecnologia ao projeto EXPL/ECM-COM/0928/2012 e à empresa EMBARRO pela disponibilização da argamassa para a caracterização experimental e a discussões acerca de argamassas de terra.

REFERÊNCIAS

- [1] J. Lima, "O contributo das argamassas de barro para a qualidade do ambiente interior dos edifícios: O caso das argilas do sotavento algarvio", in *2º Congresso Internacional da Habitação no Espaço Lusófono*, 2013, pp. 1-11.
- [2] A. L. Pires, "Avaliação do comportamento higroscópico de argamassas de reboco", *Dissertação de Mestrado*, FCT UNL, 2013.
- [3] E. Hamard, J. C. Morel, F. Salgado, A. Marcom e N. Meunier, "A procedure to assess the suitability of plaster to protect vernacular earthen architecture", *Journal of Cultural Heritage*, vol. 14, pp. 109-115, 2014.
- [4] DIN 18947: 2013: Earth plasters – Terms and definitions, requirements, test methods (em alemão). NABau: Berlin.
- [5] P. Faria, T. Santos e V. Silva, "Earth-based mortars for masonry plastering", in *9th International Masonry Conference*, 7-9 July 2014, Univ. Minho, Guimarães (aceite para publicação).
- [6] EN 1015-2: 1998: Methods of test for mortar for masonry - Part 2: Bulk sampling of mortars and preparation of test mortars. CEN: Brussels.
- [7] EN 1015-3: 1999: Methods of test for mortar for masonry - Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table). CEN: Brussels.
- [8] EN 1015-11: 1999: Methods of test for mortar for masonry – Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar. CEN: Brussels.

- [9] EN 1015-12: 2000: Methods of test for mortar for masonry – Part 12: Determination of adhesive strength of hardened rendering and plastering mortars on substrates. CEN: Brussels.
- [10] EN ISO 12572: 2001: Hygrothermal performance of building materials and products - Determination of water vapour transmission properties. CEN: Brussels.
- [11] NP EN 1015-19: 2008: Métodos de ensaio de argamassas para alvenaria - Parte 19: Determinação da permeabilidade ao vapor de água de argamassas de reboco endurecidas. IPQ: Caparica.
- [12] DIN 4102-1: 1998: Fire behaviour of building materials and elements - Part 1: Classification of building materials. Requirements and testing. DIN-Sprachendienst: Berlin.
- [13] DIN 4102-4: 1994: Fire behaviour of building materials and elements - Part 4: Overview and design of classified building materials, elements and components. DIN-Sprachendienst: Berlin.
- [14] EN 1097-9: 1998: Tests for mechanical and physical properties of aggregates. Part 3: Determination of loose bulk density and voids. CEN: Brussels.
- [15] EN 1015-6: 2006: Methods of test for mortar for masonry - Part 6: Determination of bulk density of fresh mortar. CEN: Brussels.
- [16] EN 1015-7: 1998: Methods of test for mortar for masonry - Part 6: Determination of air content of fresh mortar. CEN: Brussels.
- [17] EN 1015-4:1998: Methods of test for mortar for masonry – Part 4: Determination of consistence of fresh mortar (by Plinger Penetration). CEN: Brussels.
- [18] prEN 1015-8: 1999: draft European Standard, Methods of test for mortar for masonry – Part 8: Determination of water retentivity of fresh mortar. CEN: Brussels.
- [19] EN 14146:2004: Natural stone test methods. Determination of the dynamic modulus of elasticity (by measuring the fundamental resonance frequency). CEN: Brussels.
- [20] E. Röhlen e C. Ziegert, *Earth building practice*, 1ª ed. 2011.
- [21] M.I. Gomes, T.D. Gonçalves e P. Faria, "Earth-based repair mortars: experimental analysis with different binders and natural fibers", in *Rammed Earth Conservation*, Mileto, Vegas & Cristini (eds.), Taylor & Francis Group, London, 2012, pp. 661-668.
- [22] R. Veiga, A. Fragata, A. Velosa, A. Magalhães, e G. Margalha: Lime-based mortars: viability for use as substitution renders in historical buildings. *International Journal of Architectural Heritage*, vol. 4, 177-195, 2010.
- [23] G. Matias, P. Faria, I. Torres, A. Tomás, T. Ferreira e T. Duarte, "Argamassas de cal aérea com resíduos de cerâmica", in *4º Congresso de Argamassas e ETICS*, 2012 (CD).
- [24] C. Pina dos Santos e L. Matias: *Coeficientes de Transmissão Térmica de elementos da envolvente dos edifícios*, ITE 50, 1ª ed., 2006.